

VŠB– Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské
metrologie

Zefektivnění broušení tlačných pružin v prostředí firmy ŽDB GROUP a.s.

Improving the Grinding of Spring
Compressors
in ŽDB GROUP a.s.

Student:

Matěj Lipták

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o strojní vybavenosti určitého provozu firmy ŽDB GROUP a.s. Firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019

.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Matěj Lipták

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Úvoz 1495/4, 73701, Český Těšín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LIPTÁK, M. Zefektivnění broušení tlačných pružin v prostředí firmy ŽDB GROUP a.s.. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 52 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Cílem bakalářské práce je zmapovat současný stav broušení tlačných pružin v brusírně firmy ŽDB GROUP a.s. a navrhnout nový způsob broušení, který bude kvalitnější a ekonomičtější. Teoretická část práce dává vhled do samotného broušení a charakteristiky brusiv a brusných nástrojů. Praktická část se zabývá popisem současného stavu na brusírně, novým návrhem, výsledky a zhodnocením výsledků práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

LIPTÁK, M. Improving the Grinding of Spring Compressors in ŽDB GROUP a.s. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering, 2019, 52 p. Thesis head: Kratochvíl, J.

The aim of bachelor thesis is to chart current situation of grinding of spring compressors in the grinding working of ŽDB GROUP a.s. and propose a new way of grinding, which be more quality and more economic. The teoretical part gives insight to itself grinding and attributes of abrasives and grinding tools. The practical part deals with description of current situation in the grinding working, new plan, results and appraisal of results.

Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Lipták**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zefektivnění broušení tlačných pružin v prostředí firmy ŽDB GROUP a.s.
Improving the Grinding of Spring Compressors in ŽDB GROUP a.s.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky.
2. Broušení testovaných pružin za současných podmínek.
3. Broušení testovaných pružin podle nového návrhu.
4. Vyhodnocení výsledků daných testů.
5. Závěr.

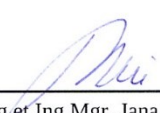
Seznam doporučené odborné literatury:

BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018
Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	8
Úvod	10
1. Broušení	11
1.1. Broušení rovinných ploch.....	12
1.2. Broušení válcových ploch.....	13
1.3. Broušení vnitřních válcových ploch.....	15
2. Brusiva a vlastnosti brusných nástrojů	16
2.1. Brusiva.....	16
2.1.1. Umělý korund.....	16
2.1.2. Kubický nitrid boru – KNB	18
2.2. Zrnitost brusiva	19
2.3. Pojivo.....	19
2.3.1. Keramické pojivo	19
2.3.2. Pyskyřičné pojivo	20
2.4. Struktura	20
2.5. Tvrdost	21
2.6. Značení tvaru, rozměrů a specifikace kotoučů	22
3. Broušení pružin v ŽDB	23
3.1. Typy strojů pro broušení pružin v ŽDB.....	23
3.2. Bruska Kunz M5.....	24
3.2.1. Brusné kotouče brusky Kunz M5.....	25
3.2.2. Orovnávání kotoučů.....	26
3.2.3. Podávací kotouče	27
4. Návrh na zlepšení.....	28
4.1. Návrh nových kotoučů	28
4.1.1. Brusné kotouče Norton	29
4.1.2. Brusné kotouče s KNB	31
5. Testované pružiny	33
5.1. Materiál pružin.....	33
5.2. Technologické parametry pružin	34
6. Test kotoučů na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12.....	35
6.1. Naměřené hodnoty	35
6.2. Efektivnost a spotřeba zrna broušení	36
6.3. Ekonomické zhodnocení	37
7. Test kotoučů na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21.....	40

7.1.	Naměřené hodnoty	40
7.2.	Efektivnost a spotřeba zrna broušení	41
7.3.	Ekonomické zhodnocení	42
8.	Výsledky testů	44
8.1.	Výsledky testu na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12	45
8.2.	Výsledky testu na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21	47
	Závěr.....	49
	Použitá literatura.....	50
	Seznam obrázků	51
	Seznam tabulek a grafů.....	52

Seznam použitých symbolů

Značka	Jednotka	Význam značky
f_r	[mm]	Radiální posuv
a_e	[mm]	Pracovní záběr
α	[°]	Úhel hřbetu
β	[°]	Úhel břitu
γ	[°]	Úhel čela
n_s	[min ⁻¹]	Frekvence otáčení nástroje
n_{pk}	[min ⁻¹]	Frekvence otáčení podávacího kotouče
n_w	[min ⁻¹]	Frekvence otáčení obrobku
v_{fa}	[mm]	Posuvový pohyb obrobku
v_s	[m/s]	Obvodová rychlost nástroje
v_{pk}	[m/s]	Obvodová rychlost podávacího kotouče
a.s.	[-]	Akciová společnost
s.r.o.	[-]	Společnost s ručením omezeným
ČSN	[-]	Označení českých technických norem
ISO	[-]	Normy mezinárodní org. pro normalizaci
DIN	[-]	Označení německých technických norem
EN	[-]	Označení evropských technických norem
$\varnothing d$	[mm]	Průměr drátu
$\varnothing D_a$	[mm]	Vnější průměr pružiny
L_o	[mm]	Volná délka pružiny
$\varnothing H$	[mm]	Průměr otvoru brusného kotouče
KNB	[-]	Kubický nitrid boru
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
HRC	[-]	Tvrdost podle zkoušky Rockwella
DH	[-]	Dynamicky namáhané pružiny

Značka	Jednotka	Význam značky
n	[-]	Počet závitů pružiny
k_v	[-]	Index obrobitelnosti
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
Z	[%]	Kontrakce materiálu
g	[-]	Brusný poměr broušení
q	[-]	Měrná spotřeba zrna brusiva
G_m	[g]	Rozdíl hmotnosti pružin před a po brusu
G_z	[g]	Rozdíl hmotnosti nástroje před a po brusu
m	[kg]	Hmotnost
C_p	[Kč/min]	Cena strojové minuty
C_a	[Kč/min]	Cena 1 g brusiva
Q_m	[g/min]	Výkon broušení
T	[min]	Trvanlivost nástroje
t_{brus}	[min]	Čas broušení
e	[mm]	Tolerance kolmosti pružiny
A_{C3}	[°C]	Austenitizační teplota
OR	[-]	Počet orovnění kotoučů
W	[mm]	Šířka vrstvy KNB
X	[mm]	Tloušťka vrstvy KNB

Úvod

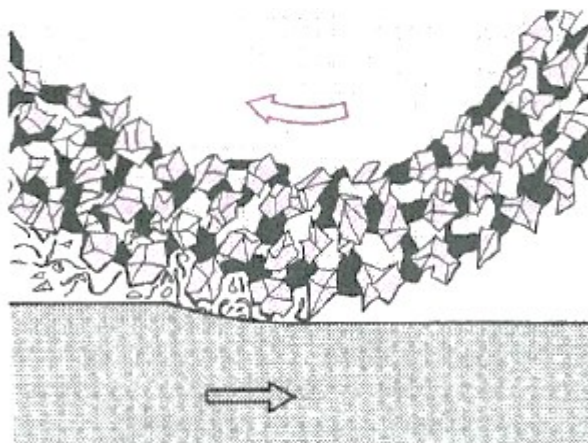
V sériové výrobě je kladen velký důraz ne veškeré detaily spojeny s efektivitou, kvalitou a ekonomičností práce. Je proto důležité sledovat stále nové možnosti všech procesů a zvažovat jejich inovace a zdokonalování. Firma ŽDB GROUP a.s. má provoz pérovnu, kde se vyrábí statisíce pružin ročně a mnoho z nich se brousí. Některé pružiny se brousí na starších typech strojů se stejnými brusnými nástroji po mnoho let. Firma zadala úkol navrhnout podmínky broušení tak, aby byly efektivnější a případně kvalitnější.

Bakalářská práce se zabývá zmapováním broušení pružin v pérovně, navržení nových podmínek a zhodnocení výsledků. Cílem práce je dosáhnout ekonomičtějšího a kvalitnějšího broušení na daném typu brusky.

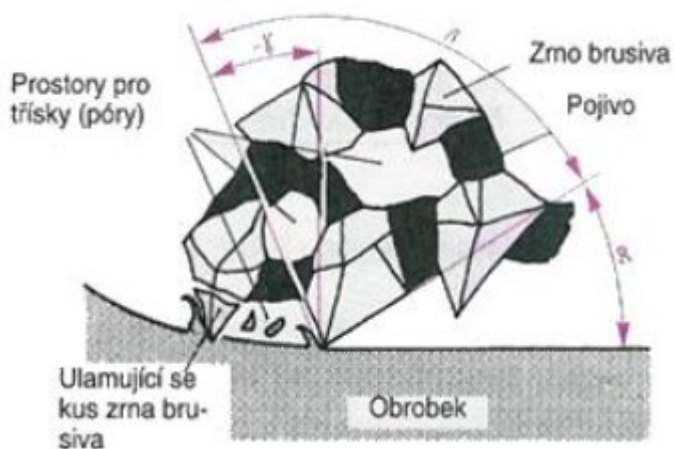
1. Broušení

Broušení je, jak uvádí ¹, hlavní dokončovací operace, kterou dosahujeme přesných rozměrů, tvarů a drsností. Jde o metodu obrábění mnohobřítým nástrojem s nedefinovatelnými řeznými hranami (zrny), které jsou spojena pojivem.

Díky progresu technologií brusných materiálů se broušení využívá i při hrubování. Zrna nejsou v pojivu příliš pevně zapuštěna, přenáší tedy malé řezné síly. Odpadáváním dochází k samoostření kotoučů. Broušení způsobuje velké řezné síly (odpory), tím vzniká i velké teplo na obrobku a kotouči. Je možno obrábět i velké plochy najednou, a to velmi produktivně.



Obr. č. 1.1 – Princip broušení ³



Obr. č. 1.2 – Geometrie brusného zrna ³

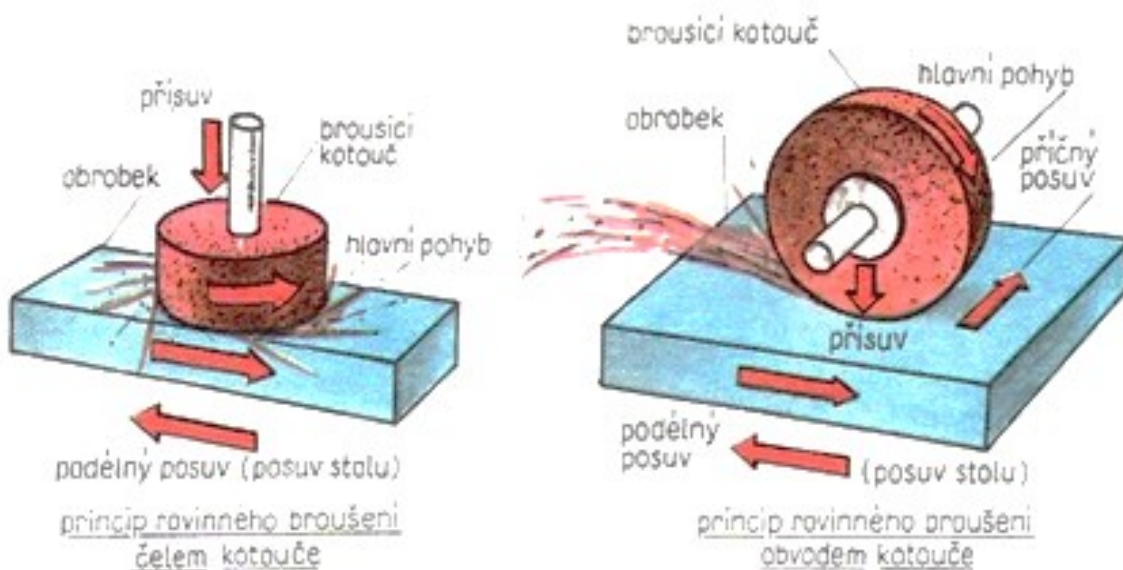
Základní rozdělení typů broušení

Jak uvádí ², brousit lze téměř všechny plochy a v různých polohách. Existuje tedy široká paleta druhů broušení. Rozlišujeme je podle různých aspektů, na příklad:

- Dle tvaru obrobené plochy
- Dle aktivní části brousícího kotouče
- Dle hlavního pohybu posuvu vůči kotouči

1.1. Broušení rovinných ploch

Dle ³ jde o obrábění rovinných ploch nebo broušení k dosažení rovinnosti plochy či úkosů. Pro rovinné broušení se užívají převážně vodorovné a svislé brusky. Lze obrábět obvodem kotouče i čelem. Tento způsob broušení je stěžejní pro praktickou část práce.



Obr. č. 1.3 – Rozdíly v rovinném broušení podle polohy kotouče ⁷

Způsoby rovinného broušení dle ²:

- S velkým přísuvem a malým posuvem

Takto obráběné plochy rychle odeberou vrstvy materiálu, avšak brousící kotouč nezabírá celou svou šířkou a brousí hlavně hranou. Vzniká tedy rychlé opotřebení kotouče a jeho hrana se sráží.

- S malým přísuvem a velkým posuvem

Kotouč zabírá větší částí své šířky, vznikají menší tlaky mezi obrobkem a kotoučem, to pomůže i menšímu zahřívání. Použijí se širší kotouče.

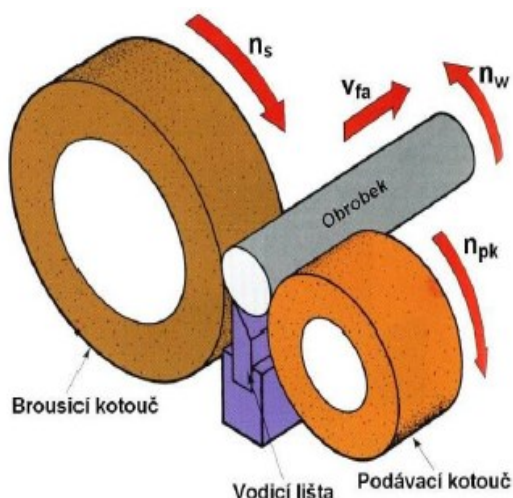
1.2. Broušení válcových ploch

Zdroj ² uvádí, že se jedná o broušení rotačních součástek válcového nebo kuželového tvaru, kdy obrobek i nástroj vykonávají otáčivý pohyb. Obrobky jsou upnuty mezi hroty, elektromagnetickými upínacími deskami, pomocí opěr (lunet), přípravky, do kleštin apod.

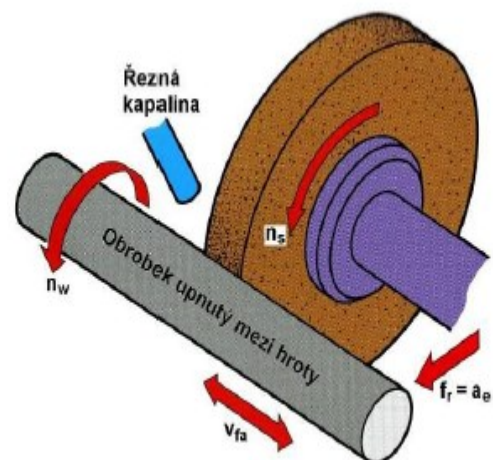
Základní způsoby broušení válcových ploch podle ²:

- Axiální obvodové broušení vnějších ploch

Vhodný typ broušení pro dlouhé rotační součástky. Obrobek koná otáčivý pohyb kolem své osy a zároveň může konat i posuvový pohyb rovnoběžně se svou osou. Nástroj vedle otáčivého pohybu koná také radiální posuv, který určí hodnotu záběru na každý zdvih.



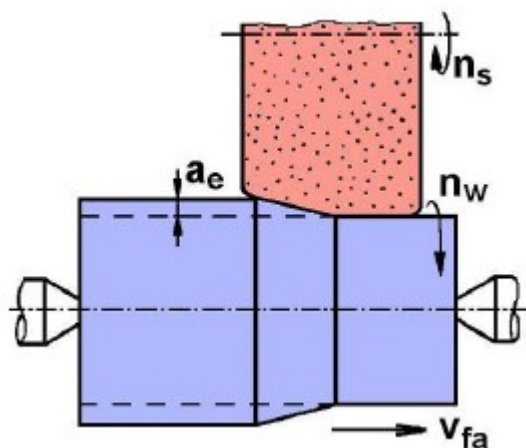
Obr. č. 1.4 – Bezhraté broušení ²



Obr. č. 1.5 – Broušení podélným posuvem ²

- **Hlubkové broušení**

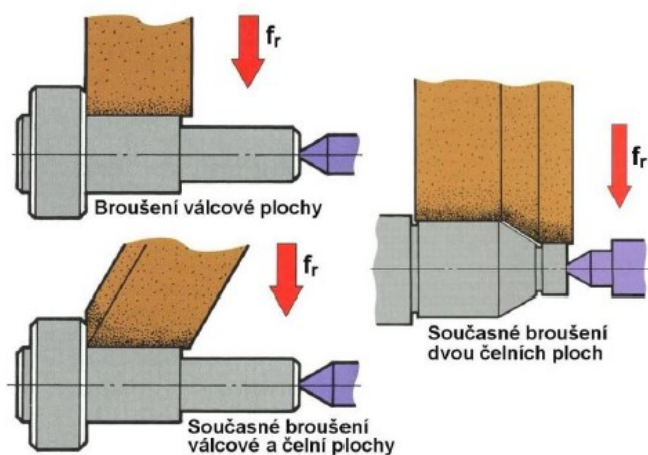
Jde o broušení s velkým záběrem a malým posuvem. Je to velmi produktivní typ broušení. S velkým výkonem broušení však roste spotřeba brusných kotoučů. Na kotouči vzniká kuželová plocha, kterou je třeba srovnávat a následně dál brousit.



Obr. č. 1.6 – Hlubkové broušení ²

- **Zapichovací broušení**

Při zapichovacím broušení musí mít obrobek velikou tuhost. Řezné podmínky jsou podobné jako u hlubkového broušení, avšak výkon obrábění, díky absenci axiálního posuvu je daleko větší.



Obr. č. 1.7 – Zapichovací broušení ²

1.3. Broušení vnitřních válcových ploch

Dle ² kotouč obrábí uvnitř díry, kdy se posouvá ve směru osy, obrobek se otáčí proti směru otáčení kotouče. Velikost kotouče musí být maximálně $0,7 \div 0,9$ násobek průměru díry. Velký kotouč má tedy velkou stykovou plochu, to způsobí i velké zahřívání obrobku a kotouče. Zvolíme tedy i menší řezné rychlosti než při broušení vnějších ploch.

Broušení děr provádíme:

- Podélným způsobem

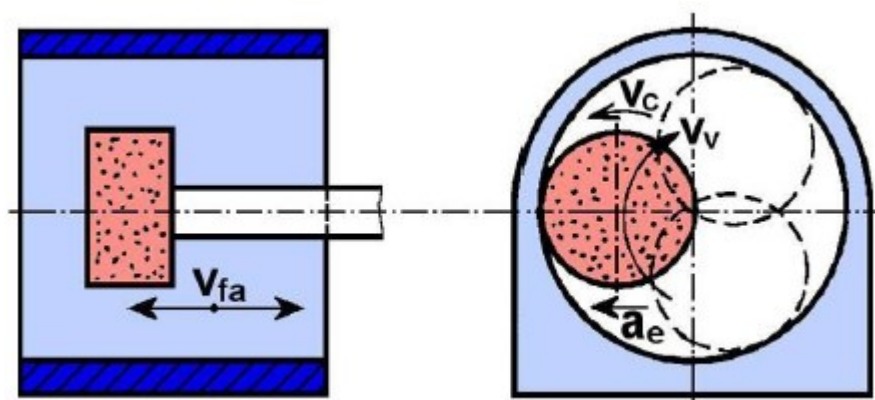
Nejčastější způsob broušení děr, kdy na hrubování volíme větší přísuvy, na čisto se brousí velmi malým přísuvem. Snažíme se brousit so největším kotoučem

- Zapichovacím způsobem

Jde o méně používanou metodu, vhodnou pro broušení kratších děr nebo obrábění drážek uvnitř děr.

- Planetový způsob

Při tomto broušení všechny pohyby koná nástroj. Obrobek je upnutý, může jít o těžké či rozměrné obrobky. Nástroj se tedy otáčí kolem své osy, koná axiální posuvy, radiální posuvy a také pobíhá kolem osy obrobku. Všechny tyto pohyby nástroje nám způsobí malou tuhost vřetene, s tím tedy i malou přesnost broušení.



Obr. č. 1.8 – Planetové broušení děr ²

2. Brusiva a vlastnosti brusných nástrojů

Brusivo je krystalická nebo zrnitá látka, jejíž tvrdá a ostrohranná zrna obrušují jiné látky. Brusivo se dá užívat více způsoby, např.: volnými zrny, zrny rozptýlenými v mazadlech, zrna přilepené k plátnu a zrny spojenými v brusné nástroje.⁴

Brusnými nástroji jsou nazývané tělesa, která jsou sestavena spojením pojiv a brusiv. Příklady brusných nástrojů jsou např.: brusné pilníky; obtahovací, honovací a superfinišovací kameny; brusné segmenty apod. Nejčastěji užívaný brusný nástroj je však brusný kotouč, s tím budu pracovat v praktické části této práce, a proto podrobně rozeberu právě jen vlastnosti brusných kotoučů.⁴

2.1. Brusiva

Hlavní rozdělení brusiv je na přírodní a umělá. Přírodní brusiva jsou však nečistá a nestejněměrná, mezi základní přírodní brusiva patří: písek, přírodní korund či diamant. Diamant se nepoužívá vždycky přírodní, vyrábí se také uměle. V praxi se mnohem častěji setkáme s umělými brusivy, mezi které patří např. karbid křemíku nebo boru.⁴

2.1.1. Umělý korund

Umělý korund se také nazývá tavený kysličník hlinitý - Al_2O_3 . Vyrábí se elektrických obloukových pecích z bauxitu a koksu. Korundem se většinou brousí ocel, proto až 80% veškeré výroby umělých brusiv pokrývá právě umělý korund. Jeho složení určuje norma ČSN 22 4040 – ČSN 22 4044. Rozdílné korundy se odlišují především koncentrací Al_2O_3 .⁴

Jakost a vlastnosti umělého korundu závisí na výrobním postupu. Každá firma má určité specifické vylepšení, které si střeží jako své know-how. Možnou chemickou přísadou k bauxitu a koksu, ze kterého se vyrábí umělý korund, může být kysličník titaničitý nebo kysličník chromitý. Těmito kysličníky zvýšíme tvrdost korundu. Velký vliv má i mineralogické složení zrna. Velmi záleží také na drcení zrn z bloku taveniny.

Bílý korund, který má obsahuje 98 - 99 % Al_2O_3 , jde o nejčistší a tím i nejlepší korund. Výrobky z něj se však často obarvují na cihlově červenou. Bílý korund je označován A99. Kotoučem z bílého korundu se dále budu zabývat v praktické části. ⁴

Růžový korund, ten obsahuje oxid chromitý. Je vhodnější pro tvrdší oceli nebo již tepelně zpracované oceli. Nese označení A98. ⁴



Obr. č. 2.1 –
Příklad brusného
nástroje z bílého
korundu (Brusné
tělísko)



Obr. č. 2.2 – Brusný kotouč z hnědého korundu

2.1.2. Kubický nitrid boru – KNB

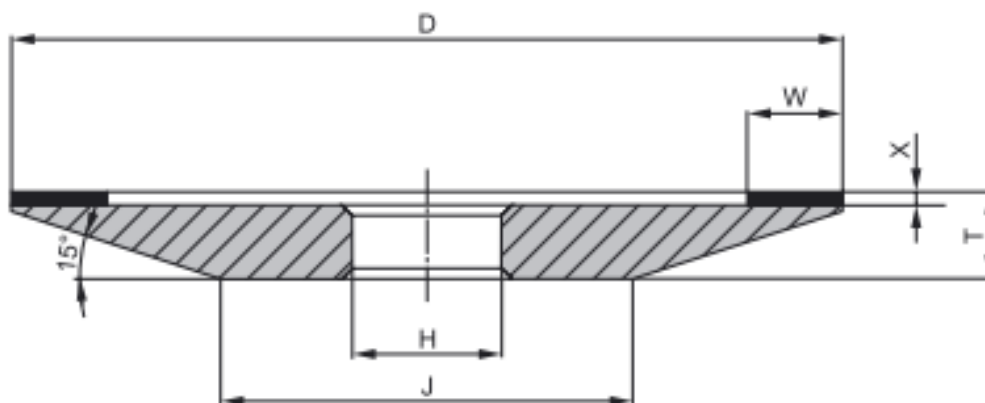
Jde o velmi tvrdý materiál, který se vyrábí syntézou za vysokých tlaků (300 – 980 Mpa) a teplot (cca. 2 000 °C) z hexagonálního nitridu boru. Obsahuje 43,6% boru a 56,4% dusíku. ¹

Krystalická mřížka CNB se podobá mřížce diamantu, tzn., že má stejnou stavbu, ale obsahuje atomy boru a dusíku. KNB má však větší krystalickou mřížku, to vysvětluje poněkud menší tvrdost s porovnáním s diamantem. ¹ Kotouče s brusivem KNB jsou využity v praktické části bakalářské práce.

Na rozdíl od diamantu má vyšší chemickou stálost, tepelnou odolnost (1100 – 1200 °C) a chemickou netečnost k železu. Je tedy vhodný i pro obrábění legovaných ocelí atd. Jeho vlastnosti výrazně snižují adhezní a difúzní opotřebení nástroje s porovnáním s diamantem. ¹

Výhodou těchto brusiv oproti konvenčním korundovým je, že mají vlastnost samoostření. Díky samoostření, kdy se odlamují jednotlivá zrna rovnoměrně a samostatně při broušení, ušetříme operaci orovnávací kotouče.

Brusivo KNB se nanáší na ocelové kotouče. Množství brusného materiálu se řeší především plochou, na kterou je brusivo nanášeno a tloušťkou povlaku. Na obr. č. 2.3, který je z katalogu firmy Urdiamant s.r.o. kde jsem kotouče objednával, to jde vidět černou plochou, která je kótovaná písmeny „W“ a „X“.



Obr. č. 2.3 – Objednávkový obrázek na kotouč s KNB firmy Urdiamant s.r.o. ⁹

2.2. Zrnitost brusiva

Dle zdroje ³ zrnitost brusiva udává velikost brusného zrna, číslo, kterým se označuje zrnitost odpovídá desetině měrného rozměru zrna v mikrometrech. Volí se např. podle drsnosti obrobené plochy nebo materiálu obrobku. Značení podléhá normě ČSN EN 12413. Zdroj ⁴ uvádí, že zrna se třídí podle velikosti proséváním sítí a plavením.

2.3. Pojivo

Jak uvádí zdroj ⁴, pojivo neboli vazba brusných nástrojů spojuje zrna. Množství, druh a zpracování pojiva určuje tvrdost nástroje. Díky těmto faktorům se dají měnit vlastnosti brusných kotoučů i se stejným brusivem.

Známe mnoho druhů pojiv, ve firmě se doposud používají pouze nástroje s keramickým pojivem. Praktická část bakalářské práce pojednává také o brusném nástroji s pryskyřičným pojivem.

2.3.1. Keramické pojivo

Kniha ⁴ říká, že jde o pojivo z čistých ohnivzdorných hlín a přísad. Keramické pojivo je nejrozšířenější ze všech druhů – objevuje se až u 90 % brusných kotoučů na kovy.

Kotouče s keramickým pojivem netrpí degradací vlivem vody, olejem či kyselinami. Na brusných kotoučích s tímto pojivem se brousí s rychlostí do $v_s = 50 \text{ m/s}$.

Pro zmenšení křehkosti těchto kotoučů se někdy do pojiva napouští plastická hmota. Výroba kotoučů s keramickým pojivem probíhá nejčastěji litím, ale také se pěchují či lisují. Pórovitost určuje kombinace více velikostí zrn a jejich množství a také množství pojiva. Po vysušení se kotouče vypalují. Špatným vypalováním a sušením může být kotouč příliš tvrdý a lze ho změkčit např. roztokem hydroxidu sodného. Mohou se tak opravit i staré kotouče ze skladu.



Obr. č. 2.4 – Brusný kotouč s keramickým pojivem

2.3.2. Pryskyřičné pojivo

Je vhodné pro největší obvodové rychlosti v_s (do 80 m/s) brusných a řezacích kotoučů na přesné a jemné práce. Kotouče se tolik nezahřívají díky tomuto pojivu, avšak nesnesou ohřátí přes 180 °C. Kotouče s pryskyřičným pojivem je tedy vhodné chladit, nemusí se tak dít za určitých podmínek (úzká brousící vrstva; nižší obvodová rychlost, přítlak, posuv a krátký strojní čas), které broušení pružin splňuje.⁴

Pryskyřičné pojivo dobře drží zrna KNB, ale např. nedrží korundová zrna tak dobře jako keramické pojivo. Příklad pryskyřičného pojiva je bakelit.

2.4. Struktura

Struktura neboli sloh, je dle⁴ charakterizována tak, že čím méně pórů zbylo v brusném nástroji, tím hutnější je nástroj. Hutné nástroje brousí jemněji.

Pórovité nástroje mají mezi zrny větší mezery na třísky, brousí tedy s menším zahříváním. Mohou ale ztrácet vyvážení nasáváním kapaliny. Nezanášení třískami se projevuje na zvýšeném výkonu broušení těchto pórovitých nástrojů. Hodí se k broušení děr a rovinných ploch, kde je styk kotouče s povrchem velký. Pórovité kotouče snesou také větší řezné rychlosti. Některé kotouče jsou tvořeny až ze 70 % póry. Jsou vhodné na mazlavější materiály (korek, plst', kůže) ale i na nejtvrďší kovy.

2.5. Tvrdost

Jak uvádí ⁴, tvrdost nástroje se řídí především druhem pojiva, jeho vlastnostmi, množstvím apod. Měří se např. vrypem dláta, otryskáním pískem, Brinellovou zkouškou, zvukem aj. Takto se měří především soudržnost kotouče.

V praxi se především řeší tzv. pracovní tvrdost, která závisí na mnoha faktorech, např. změna rychlostí, vyvážení kotouče, ostření, mazání a chlazení kotouče atd.

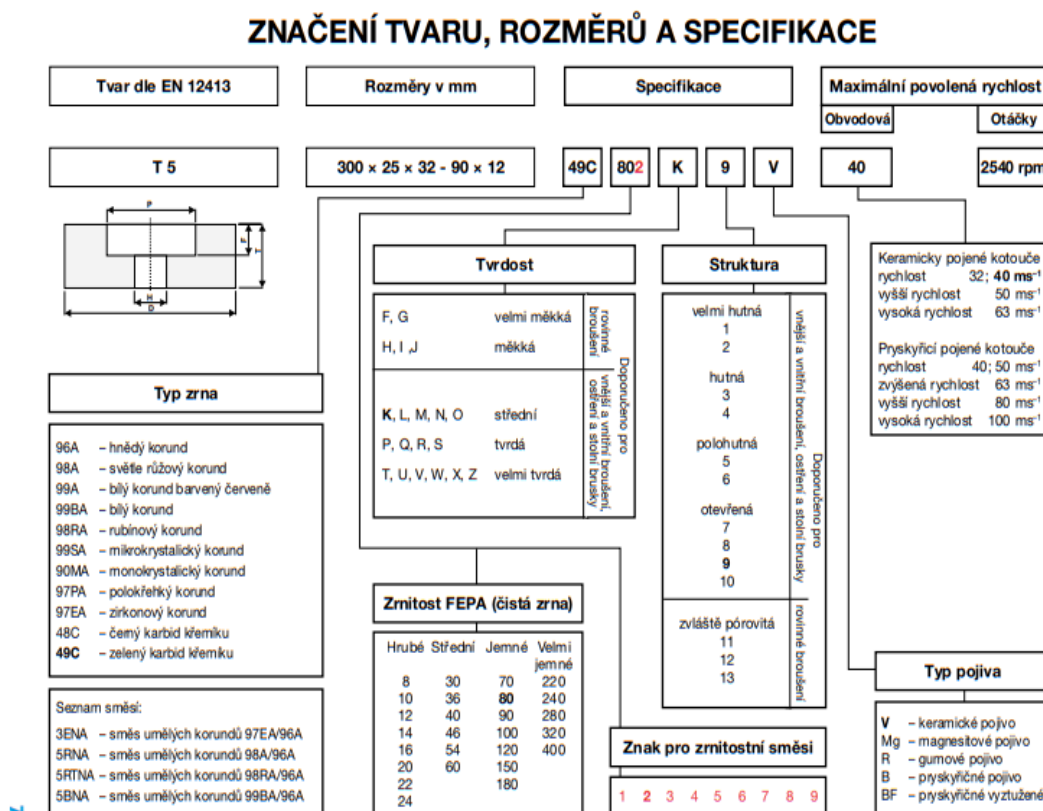
Nevyvážené kotouče se změkčují chvěním, pokud se chvěje stroj, musíme volit tvrdší kotouče. Stejně tak musíme volit tvrdší kotouč při malé styčné ploše mezi obrobkem a nástrojem.

Nelze však říci, že tvrdší kotouč vždy déle vydrží. Tvrdší kotouč se rychleji otupí, musí se tedy častěji orovnat. Při menších rychlostech tvrdý kotouč příliš tlačí na obrobek, to zapříčiní větší chvění a zhoršuje se výbrus povrchu. Měkčí kotouč má stejný výkon při větší řezné rychlosti, s menším tlakem, protože každé zrno řeže menší třísku.

Obecně lze pozorovat základní jevy. Při příliš tvrdém kotouči se povrch spíše pálí a příliš neřeže, jen leští povrch. Měkký kotouč se pozná, že rychle ubývá i při sníženém f_r . Nepsaným pravidlem je potom, že u většího broušeného průměru volíme měkčí kotouč nebo nastavíme větší přísuv. Pro broušení menších průměrů můžeme zvolit tvrdší kotouče anebo menší přísuv. Jakost výbrusu závisí též na povrchovém napětí, tvořené broušením. Zmenšuje pevnosti i odolnost proti korozi. Měkčí kotouč zanechá v povrchu menší napětí než tvrdý.

2.6. Značení tvaru, rozměrů a specifikace kotoučů

Na obr. č. 2.5 je značení brusných kotoučů z katalogu rozšířené firmy Tyrolit. Nejde pouze o jejich firemní značení, jde o značení dle normy EN 12413. Aktuálně se ve firmě na stroji, na kterém budu provádět mou práci, používá brusný kotouč od firmy Bestb s charakteristikou viz. tab. č. 1.



Obr. č. 2.5 – Značení vlastností brusných kotoučů⁵

Brusivo	Zrnitost	Tvrdost	Struktura	Pojivo	Max. v_k [m/s]	Barva	Rozměr	Max. n_s [min ⁻¹]
A99B	80	L	7	V	40	Bílá	225x40x51	3400

Tab. č. 1 – Specifikace brusného kotouče Bestb

3. Broušení pružin v ŽDB

Drtivá většina broušení pružin probíhá na tlačných pružinách. Broušení koncových závitů pružin má docílit především to, aby stála rovně. Někdy je také požadovaná určitá drsnost povrchu, to není však příliš časté a ani má práce se tímto problémem příliš nezabývá. K rovnoměrně rovné ploše je třeba zajistit rovnoměrný tlak konců pružin na kotouč. Broušení pružin je relativně pomalý a drahý proces, proto je kladen velký důraz na efektivitu a ekonomičnost procesu, čímž se zabývá také má bakalářská práce.

3.1. Typy strojů pro broušení pružin v ŽDB

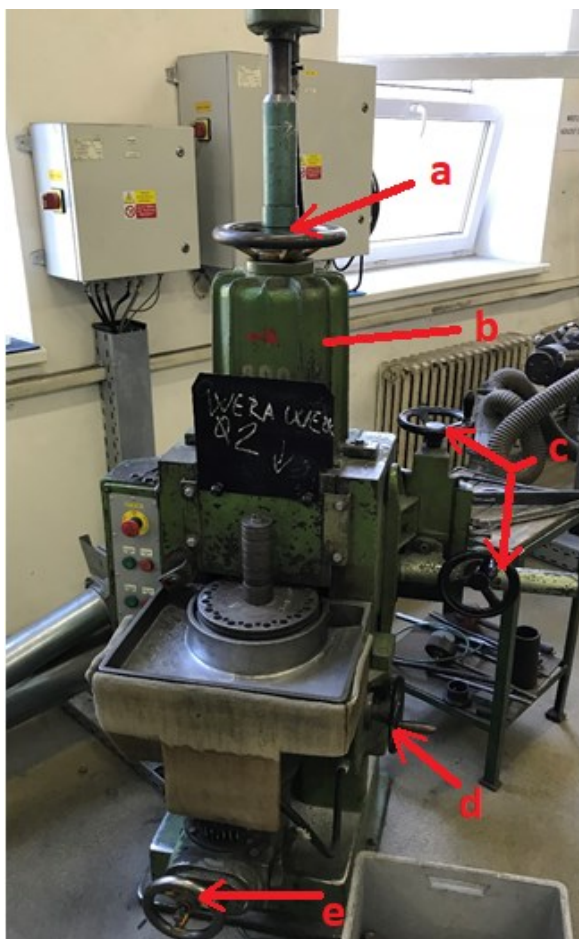
Pérovna firmy ŽDB disponuje třemi druhy brusek. Klasickými stojanovými, kde se brousí delší pružiny pomocí ručního přípravku nebo se do nich nastaví brusná tělíska ve tvaru hrotu viz. obr. č. 2.1 a zabrušují se vnitřní průměry pružin, práce je řešena na automatické brusce.

První typ automatické bruska má kyvný podavač. Používá pro broušení pružin o velkém vnějším průměru $\varnothing D_1 = 30 - 110 \text{ mm}$; velkém průměru drátu $\varnothing d = 4,5 - 11,8 \text{ mm}$ a velké volné délce $L_0 = 80 - 500 \text{ mm}$. Nevýhodou této brusky je, že se musí pružiny v podavači přetáčet, aby se obrousily obě strany. Bruska má totiž pouze jeden brusný kotouč.

Bakalářská práce se zabývá broušením na automatické brusce s podávacími kotouči. Tyto brusky ve firmě mají buďto dva stejné brusné kotouče nebo čtyři po dvou párech. V sérii dvou párů kotoučů první kotouče mají hrubší zrnitost a předhrubují plochu a druhý pár kotoučů dobrousí pružiny do požadované kvality.

3.2. Bruska Kunz M5

Jde o nejmenší automatickou brusku s podávacími kotouči. Pérovna firmy ŽDB má tyto brusky tři. Velká část zakázek se brousí právě na tomto stroji, díky tomu, že zakázky jsou na pružiny o rozměrech, na které je tato bruska stavěna ($\varnothing d = \text{max. } 2,5$; $\varnothing D_a = \text{max. } 40$; $L_0 = \text{max. } 80$). To je důvod proč se práce zabývá právě touto bruskou.



Obr. č. 3.1 – Bruska Kunz M5

Popis obr. č. 3.1 : a) Nastavení úběru vrchního kotouče ; b) Vřeteník ; c) Ovládání orovnávače ; d) Nastavení výšky podávacího kotouče ; e) Nastavení otáček podávacího kotouče

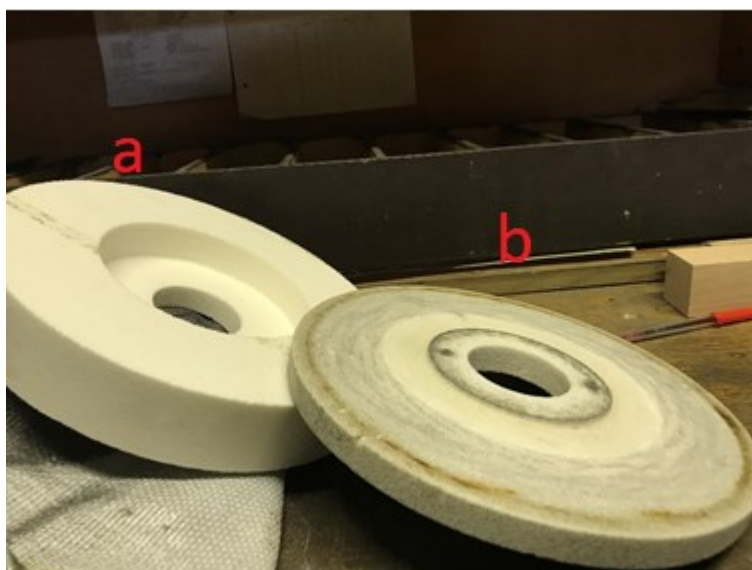
Typ stroje	Rozměr kotouče	n_s [min^{-1}]	n_{pk} [min^{-1}]	$\varnothing d$ [mm]	$\varnothing D_a$ [mm]	L_0 [mm]
KUNZ M5	225 x 40 x 51	2800	Max. = 2,3	Max. 2,5	Max. 40	Max. 80
			Min = 1,9			

Tab. č. 2 – Základní parametry brusky Kunz M5

3.2.1. Brusné kotouče brusky Kunz M5

Pro brusku Kunz M5 je třeba mít sérii dvou stejných kotoučů s jednostranným vybráním viz. obr. č. 3.2 (a). Z důvodu uchycení kotouče objímkou viz. obr. č. 3.4. Při broušení delších pružin ($L_0 > 30\text{mm}$) se mohou použít i kotouče bez vybrání nebo kotouče s vybroušeným vybráním viz. obr. č. 3.2 (b).

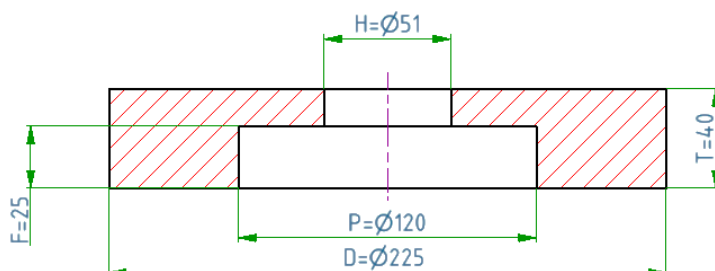
Broušení kotouči s vybroušeným vybráním přináší velkou úsporu. Tyto kotouče se však musí kontrolovat proti vadám. Kontrola probíhá vizuálně nebo akusticky, poklepáním dřevěným kladívkem, kdy kotouč nesmí znět dutým zvukem.



Obr. č. 3.2 – a) Nový kotouč firmy Bestb s jednostranným vybráním
b) Kotouč s vybroušeným vybráním

Na této brusce se aktuálně používají brusné kotouče firmy Bestb, jehož charakteristika je v Tab. č. 1. Jde o univerzální kotouče na broušení kovů, se kterými lze brousit s přívodem kapaliny, tak i bez. Bruska Kunz M5 chlazení kapalinou nemá. Praktická část bakalářské práce porovnává výbrusy nových brusných kotoučů s tímto brusným kotoučem

Brusné kotouče pro brusku Kunz M5 nemají rozměry, které by byly běžné na novějších strojích. Rozdílný je především $\varnothing H$ viz. obr. č. 3.3, který se nasouvá na hřídel vřeteníku.

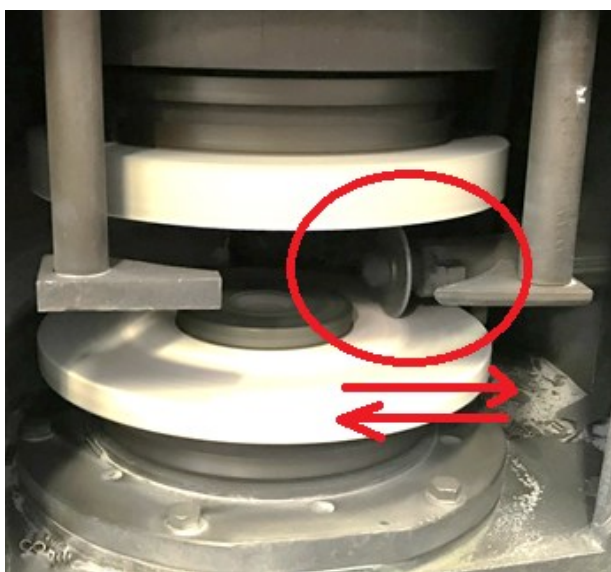


Obr. č. 3.3 – Rozměry brusného kotouče Bestb

3.2.2. Orovnávání kotoučů

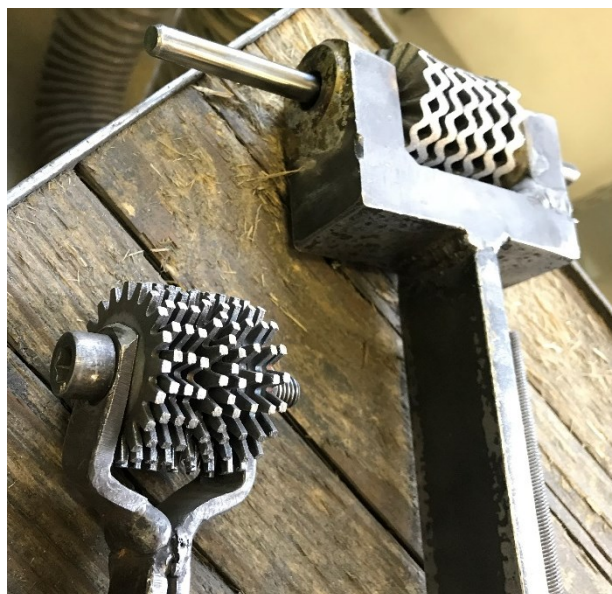
Bruska Kunz M5 má orovnávač, který je zabudován ve stroji a ovládá se mechanicky viz. obr. č. 3.1 (c).

Orovnávání odebírá velké množství brusiva, je však nutné. Pružiny nadělají do kotouče rýhy, díky kterým není broušení dalších pružin dostatečně rovnoměrné. Ve firmě ŽDB jsou na bruskách pouze ocelová orovnávací kolečka. Existují také diamantové orovnávače, tím se tato bakalářská práce dále nezabývá, dle mého názoru je to však dobrý podnět k dalšímu výzkumu a testování.



Obr. č. 3.4 – Orovnávač na brusce

Kotouče lze orovnávat také ručně pomocí orovnávacích koleček. To se však při této automatické brusce příliš často nevyužívá. Orovnávací kolečka jsou většinou ocelová. Kolečka se nasazují na dlouhé tyče s osičkou. Orovnává se potom na zapnutém kotouči.



Obr. č. 3.5 – Orovnávací kolečka na ruční orovnávání

3.2.3. Podávací kotouče

Podávací kotouče jsou kotouče s otvory pro různé vnější průměry pružin D_a a délky L_0 viz. obr. č. 3.6. Delší pružiny se nasouvají do dvou na sebe položených podávacích kotoučů nebo se dva kotouče vymezí distančními podložkami viz. obr. č. 3.7.



Obr. č. 3.6 – Podávací kotouče



Obr. č. 3.7 – Podávací kotouče vymezeny distančními podložkami

4. Návrh na zlepšení

První návrh zlepšení byla snaha zlepšit efektivitu za aktuálních podmínek. Doposud se na stroji Kunz M5 brousí všechny zakázky jedním typem kotoučů. Jedná se o kotouče firmy Bestb, jehož charakteristika je v kapitole 3.2.1.

Stroj Kunz M5 nemá příliš možností nastavení. Na každou zakázku ho nastavuje seřizovač brusek podle vlastních zkušeností a citu, kdy zkouší na pár kusech nastavovat hodnoty radiálního posuvu broušení f_r a obvodovou rychlostí podávacího kotouče v_{pk} . Obvodová rychlost brusného kotouče v_s je stabilní. Brusič je dostatečně kvalifikovaný a schopný, aby nastavil stroj na vhodné podmínky.

Broušení zakázky na jeden úběr musí schválit technolog pérovny. Pokud seřizovač brusek nastaví stroj tak, že se brousí zakázka na dva a více úběrů, může to schválit i samotný seřizovač.

4.1. Návrh nových kotoučů

Tím, že se stroj nelze příliš nastavovat zbyla jediná možnost, jak zvýšit efektivnost a náklady na broušení, vyzkoušet nové typy kotoučů.

Současné firmy dodávající brusný materiál do firmy ŽDB jsou již zmiňovaný Best Business a.s. a Tyrolit. Od těchto dvou firem již ŽDB odebírá brusné nástroje do všech brusek a po konzultaci s mistrem pérovny jsem již dále nehledal nic od těchto firem, protože ŽDB již od nich vyzkoušela všechny varianty brusných materiálů.

Průzkumem trhu byla nalezena firma Turbin s.r.o.. Firmou byly nabídnuty kotouče Ice spring, které mají složení speciálně pro broušení koncových závitů pružin. Byly objednány dva tyto kotouče Ice spring. Výrobní a dodací lhůta těchto kotoučů je zhruba 16 týdnů. Bohužel administrativní chybou se nepodařilo včas dodat tyto kotouče a proto se do bakalářské práce nedostaly.

4.1.1. Brusné kotouče Norton

Firma Norton, která se zabývá výrobou brusiv, má dlouhou historii. Byla založena koncem 19. století v USA.⁸ Od této firmy byly objednány dle katalogu, viz. literatura č. 8, brusné kotouče pro přesné broušení kovů.

Skladem nebyly kotouč tvaru s vybráním, pouze klasického tvaru, viz. obr. č. 4.2. Dle vysvětlení v kapitole 3.2.1. je možné použít pro brusku Kunz M5 i kotouč bez vybrání. Pokud se tento brusný kotouč osvědčí, je možno jej objednat ve tvaru i s vybráním, tak jak se doposud užívá na brusce Kunz M5.

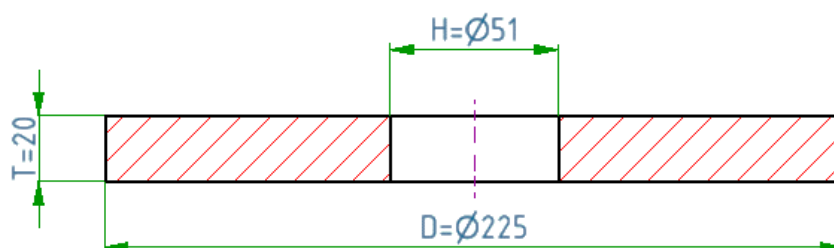
Kotouč je vhodný pro středně a méně výkonné brusky, což bruska Kunz M5 splňuje. Dodavatel slibuje ostřejší a tvrdší zrna než u konvenčních brusiv, jako např. umělý korund. Kotouč je vhodný pro širokou škálu ocelí.



Obr. č. 4.1 – Brusný kotouč Norton

Brusivo	Zrnitost	Tvrdost	Pojivo	Max. v_s [m/s]	Rozměr	Max. n_s [min ⁻¹]
SGB	60	H	VX	45	225x20x51	3400

Tab. č. 3 – Charakteristika kotouče Norton



Obr. č. 4.2 – Rozměry brusného kotouče Norton

Brusivo

Kotouče Norton jsou složeny ze směsi brusiv SG a B. Brusivo podléhá firemnímu značení. Tato směs označovaná jako SGB je vhodná pro broušení ocelí a nerez ocelí do 67 HRC, ocel kalenou do 65 HRC (rychlořezná ocel).⁸

Brusné zrna SG, které je patentované firmou Norton, je keramizované zrna na bázi oxidu hlinitého. Je tvrdší a ostřejší než konvenční brusivo. Keramizovaná zrna mají lepší samoostřicí efekt než běžná korundová zrna. Tento efekt vede k redukci orovnávání kotouče a lépe chladí výbrus. Obsah brusiva SG je v kotouči 50 %.⁸

Brusné zrna B je konvenční zrna na bázi oxidu hlinitého. Tyto zrna jsou vhodné pro broušení materiálů s vysokou mezí tahnosti jako jsou nerez oceli a nástrojové oceli, ale mohou být použity i pro broušení vysoce tažného hliníku a bronzových slitin. Obsah zrn typu B je 30%.⁸

Zrnitost

Zrnitost je udávána hodnotou 60, dle normy EN 12413, viz. obr. č. 2.5. Jde o střední zrnitost. Což je vhodné pro držení dobrého tvaru obrobené plochy, pro malé kontaktní plochy a pro tvrdé a křehké materiály.

Tvrдост

Tvrдост je opět udávána dle normy EN 12413. Tvrдост kotouče je H, což je měkký kotouč. Tato tvrдост je vhodná pro broušení na plocho a má rychlejší řezivost, která je vhodná pro broušení pružin protože nemusí být pružiny dlouho v kontaktu s brusným kotoučem.

Pojivo

Pojivo je keramické, norma EN 12413 nese pro keramická pojiva značení V. Firma Norton však upravila toto pojivo, aby lépe držela keramizovaná zrna SG. Pojivo tedy má firemní označení VX.

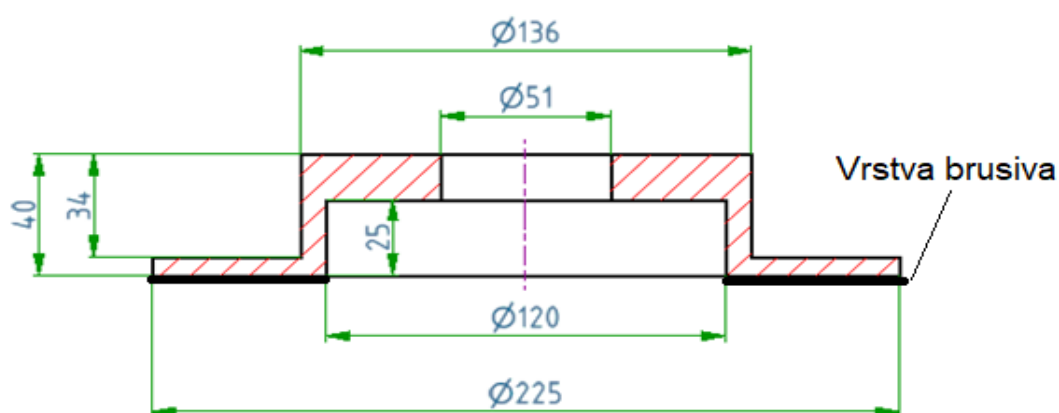
Cena

Cena dvou ks. kotouče Norton je 3 073,10 Kč bez DPH.

4.1.2. Brusné kotouče s KNB

Obráběcí nástroje z kubického nitridu boru mají výborné vlastnosti. Byl tedy proveden průzkum trhu s brusnými nástroji s kubickým nitridem boru nebo diamantem. Díky nejlepší komunikaci s dodavatelem a cenové dostupnosti byly objednány kotouče s KNB u firmy Urdiamant s.r.o..

Bruska Kunz M5 nemá rozměry brusných kotoučů, které by se v této době hojně vyráběli. Firma Urdiamant obrábí podkladové kotouče všech tvarů. Finální tvar kotouče, po domluvě s firmou, je viz. obr. č. 4.3. Po ztrátě brusných vlastností kotouče se pošle dodavateli ocelová příruba a na tu znovu nanесou nové brusivo.



Obr. č. 4.3 – Konstrukce brusného kotouče s KNB

Brusivo, kubický nitrid boru, bylo stejně jako pojivo, pryskyřičné, popsány v teoretické části práce. Brusné kotouče s KNB jsou vhodné na broušení rychlořezných ocelí (HSS), kalených ocelí (nad 52 HRC), cementovaných ocelí, vysoce legovaných ocelí, litin a také pro tvrdé ocelové návary.⁹

Šířka a tloušťka brousící vrstvy

U šířky brousící vrstvy „W“ (viz. obr. č. 2.3) je důležité, aby byla využívána celá (neplatí pro tvarové kotouče). Je to důležité pro výkon broušení a pro co nejvyšší a rovnoměrný brus. Šířka brousící vrstvy objednaného kotouče je $W = 52,5 \text{ mm}$.

Základní doporučená tloušťka brousící vrstvy s pryskyřičným pojivem je $X = 1,5 \text{ mm}$. Byla objednána doporučená tloušťka, je však možné mít i větší tloušťku. Kotouč se musí kontrolovat, aby se nevybrousila brousící vrstva a neničil se následně samotný kotouč.

Zrnitost

Zrnitost tohoto kotouče nese označení, dle normy ISO 6106, B 251. Jde o zrnitost vhodnou pro výkonné a účinné broušení a hrubování, kde je žádán především vysoký výkon broušení.

Cena

Cena nanesení jedné vrstvy KNB je 11 920 Kč bez DPH. Cena ocelového kotouče byla 500 Kč bez DPH.



Obr. č. 4.4 – Brusný kotouč s KNB

Brusivo	Zrnitost	Pojivo	Max. v_s [m/s]	Max. n_s [min ⁻¹]
KNB	B 251	B	40	3395

Tab. č. 4 – Charakteristika kotouče s KNB

5. Testované pružiny

Test kotoučů probíhal na dvou zakázkách, tedy dvou typech pružin. Obě zakázky jsou pro firmu Česká zbrojovka a.s.. Tato firma má vysoké požadavky na kvalitu, testování na těchto zakázkách tedy probíhalo také pod dozorem technologa pérovny.

5.1. Materiál pružin

Obě zakázky jsou z patentovaného pružinového drátu z nelegované oceli, tažený za studena. Tento drát podléhá normě ČSN EN 10270 – 1 DH. Značení DH říká, že se jedná o drát pro dynamicky namáhané pružiny a má vysokou pevnost v tahu.

Patentovaný drát je podroben ohřevu na austenitizační teplotu nad A_{c3} s následujícím rychlým ochlazováním v tekutém prostředí při teplotách okolo 550 °C a dochlazením na vzduchu nebo ve vodě. Patentováním vzniká v ocelovém drátu rovnoměrná jemně perlitická struktura s minimálním podílem jiných fází. Patentují se dráty z oceli tř. 12 s obsahem uhlíku nad 0,3 hm. %. ¹⁰

Chemické složení drátu EN 10270 - 1 DH [hmotnostní %]					
C	Si	Mn	P (Max.)	S (Max.)	Cu (Max.)
0,45 ÷ 1	0,1 ÷ 0,3	0,4 ÷ 1,2	0,02	0,025	0,12

Tab. č. 5 – Chemické složení drátu EN 10270 – 1 DH ¹¹

Mechanické vlastnosti a požadavky na kvalitu drátu EN 10270 - 1 DH			
Ød [mm]	R _m [MPa]	Z [%]	m - [kg/1 000m]
0,63	2 380 ÷ 2 640	^a	2,6
1,12	2 170 ÷ 2 400	40	8,88

Tab. č. 6 – Mechanické vlastnosti drátu EN 10270 – 1 DH ¹¹
(a – Pro tento Ød tuto hodnotu norma neuvádí)

5.2. Technologické parametry pružin

Velikost pružin lze podle firemního značení určit z názvu pružin podle daného vzoru: $\varnothing d \times \varnothing D_a \times L_o \times n$. Obě zakázky, na kterých probíhalo zkoušení kotoučů, byly před broušením zakaleny a po broušení byly poslány na stabilizaci. Stabilizace je zmáčknutí každé pružiny požadovanou silou na požadovanou délku. Po stabilizaci pružiny nabydou svých požadovaných silových a délkových vlastností.

- **0,63 x 4,8 x 18 x 12**

První zakázka je na 3 800 ks pružin, vyrábí se však také rezerva. Vyrobito a brousilo se tedy 4 000 ks pružin.

Tyto pružiny musí mít kolmost „e“ v toleranci 1,44 mm, což je běžná tolerance dle normy ČSN 02 6002. Další důležitá tolerance pro broušení je pro volnou délku L_o ($\pm 0,5$ mm).

- **1,12 x 6,3 x 39,8 x 21**

Druhá zakázka je na 1 500 ks pružin. Celkově se vyrobilo 1 600 ks pružin.

Tato zakázka pružin podléhá tolerancím $e = 3,18$ mm a $L_o = \pm 1,4$ mm.

Zakázka byla před broušením zakalena. Po broušení se posílá na odhroťování (broušení středu pružin brusnými tělísky) a stabilizaci.

6. Test kotoučů na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12

Výbrus kotoučů s KNB byl srovnán s výbrusem kotoučů Bestb na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12. Kotouče Norton se nemohly při této zakázce porovnat, protože pružiny byly příliš krátké.

Oba kotouče brousily cca. 2 000 ks pružin (určité množství pružin se použilo při nastavování stroje). Rychlost podávacího kotouče byla nastavena stejně a u stroje seděl stejný pracovník, broušení 2 000 ks trvalo 65 min.

6.1. Naměřené hodnoty

Pružiny a kotouče Bestb byly zváženy na přesné gramové váze před a po broušení. Další parametry, které byly měřeny jsou veškeré časy, tj. broušení, orovnávaní, přípravy stroje. Úbytek brusiva po orovnávaní je součet úbytku na obou kotoučích.

	PŘED BROUŠENÍM		PO BROUŠENÍ	
	Bestb	KNB	Bestb	KNB
„m“ pružin [g]	810	810	731	739
„m“ kotouče [g]	2009 - vrchní		1977	
	2311 - spodní		2261	
„m“ nového kotouče [g]	2720	90		
Úbytek „m“ orovnávaním [g]	48	0		
Čas přípravy [min]	10	10		
Čas orovnávaní [min]	5	0		
Čas brusu [min]	65	65		
G _m [g]			79	71
G _z [g]			34	0,36

Tab. č. 7 – Naměřené hodnoty testu na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12

6.2. Efektivnost a spotřeba zrna broušení

Vzorce pro efektivnost byly čerpány z literatury Maslov, J. N., 1979 ¹. Efektivnost se vyjadřuje brusným poměrem broušení – g . Ten se spočítá poměrem rozdílu hmotnosti pružin ku rozdílu hmotnosti kotoučů. Reciproká hodnota brusného poměru udává měrnou spotřebu zrna – q .

$$g = \frac{G_m}{G_z} [-] \quad (1)$$

$$q = \frac{G_z}{G_m} [-] \quad (2)$$

G_m = Rozdíl hmotnosti pružin před a po brusu [g]

G_z = Rozdíl hmotnosti nástroje před a po brusu [g]

Efektivnost

$$g_{Bestb} = \frac{G_{m-Bestb}}{G_{z-Bestb}} = \frac{79}{34} = 2,3235$$

$$g_{KNB} = \frac{G_{m-KNB}}{G_{z-KNB}} = \frac{71}{0,36} = 197,22$$

Spotřeba zrna

$$q_{Bestb} = \frac{G_{z-Bestb}}{G_{m-Bestb}} = \frac{34}{79} = 0,4303$$

$$q_{KNB} = \frac{G_{z-KNB}}{G_{m-KNB}} = \frac{0,36}{71} = 0,005$$

6.3. Ekonomické zhodnocení

Náklady na broušení nejvíce ovlivní výkon broušení (g), trvanlivost kotouče (T), doba orovnávaní (T_{OR}) a úbytek materiálu na orovnáání. Zhodnocení vychází ze vztahu z knihy Maslov J. N., 1979 ¹.

Cena strojové minuty C_p pro brusku Kunz M5 je 5,97 Kč/min. Byla vypočtena ve firmě již dříve ekonomy. Je v ní zahrnuto spotřeba elektrické energie stroje i plat pracovníka.

Dále byl spočítán 1 g užitečného objemu kotouče C_a , výkon broušení Q_m (úbytek materiálu v g za 1 minutu), trvanlivost nástroje T a náklady na broušení 1 000 000 ks pružin dané zakázky.

$$C_a = \frac{C}{m} \text{ [Kč/g]} \quad (3)$$

$$Q_m = \frac{G_m}{t_{brus}} \text{ [g/min]} \quad (4)$$

$$T = \frac{t_{brus} \cdot m}{G_z} \text{ [min]} \quad (5)$$

C = Cena daného kotouče [Kč]

m = Užitečná hmotnost daného kotouče [g]

G_m = Rozdíl hmotnosti pružin před a po brusu [g]

G_z = Rozdíl hmotnosti nástroje před a po brusu [g]

t_{brus} = Čas broušení [min]

Cena 1 g užitečného váhy kotouče

Váha brusiva KNB na jednom kotouči je $m_{KNB} = 90$ g. Cena kotouče je 11 920 Kč. C_{a-KNB} se tedy spočítá poměrem ceny kotouče ku m_{KNB} .

$$C_{a-KNB} = \frac{C_{KNB}}{m_{KNB}} = \frac{11\,920}{90} = 132,44 \text{ Kč/g}$$

Užitečná váha kotouče Bestb z korundu je $m_{Bestb} = 1877$ g. Cena kotouče je 410 Kč.

$$C_{a-Bestb} = \frac{C_{Bestb}}{m_{Bestb}} = \frac{410}{1877} = \mathbf{0,22 \text{ Kč/g}}$$

Výkon broušení

Výkon broušení Q_m udává počet gramů odebraného materiálu za minutu. Tedy poměr G_m ku času broušení t_{brus} .

$$Q_{m-Bestb} = \frac{G_{m-Bestb}}{t_{brus}} = \frac{79}{65} = \mathbf{1,2154 \text{ g/min}}$$

$$Q_{m-KNB} = \frac{G_{m-KNB}}{t_{brus}} = \frac{71}{65} = \mathbf{1,0923 \text{ g/min}}$$

Trvanlivost nástroje

Poslední potřebná hodnota k výpočtu je trvanlivost nástroje T . Trvanlivost udává čas, za který nástroj dosáhne stavu, kdy už dál nemůže brousit. Je myšleno čistý čas broušení bez orovnávaní.

$$T_{Bestb} = \frac{2 \cdot t_{brus} \cdot m_{Bestb}}{G_{z-Bestb}} = \frac{2 \cdot 65 \cdot 1877}{34} = 7177 \text{ min} = \mathbf{119 \text{ hod } 37 \text{ min}}$$

$$T_{KNB} = \frac{2 \cdot t_{brus} \cdot m_{KNB}}{G_{z-KNB}} = \frac{2 \cdot 65 \cdot 90}{0,36} = 32500 \text{ min} = \mathbf{541 \text{ hod } 40 \text{ min}}$$

Náklady na broušení 1 000 000 ks pružin

Z naměřených hodnot bylo spočítáno, že jedna sada kotoučů s KNB je schopna obrousit cca. 1 000 000 ks testovaných pružin. Byla vytvořena tedy modelová situace, jaké by byly náklady na obroušení 1 000 000 ks pružin zakázky 0,63 x 4,8 x 18 x 12.

Čas broušení 1 000 000 ks pružin se spočítá z předpokladu, že cca. 2 000 ks trvalo 65 min. Tedy čas broušení se vyjádří rovnicí č. 6.

$$t_{brus-1M} = \frac{65 \cdot 1\,000\,000}{2\,000} = \mathbf{32\,500\,min} \quad (6)$$

Počet orovnávaní vychází z předpokladu orovnáání cca. jednou za 1 500 ks obroušených pružin, které stanovil brusič dle svých zkušeností a na základě pozorování broušení dané zakázky. Počet orovnáání dostaneme tedy vztahem č. 7. Čas orovnávaní jsem naměřil.

$$OR = \frac{1\,000\,000}{1\,500} = \mathbf{666} \quad (7)$$

Čas výměny kotoučů, seřízení a kontrol byly naměřeny přímo v praxi, stejně tak kontrola stroje, která spočívá v kontrole kotoučů a všech nastavení stroje, a tedy jestli broušené pružiny mají stále požadované vlastnosti. Počet kontrol vychází z praxe brusiče a také z poznatků při broušení dané zakázky, kdy korundové kotouče rychle mění své vlastnosti na rozdíl od kotoučů s KNB.

BROUŠENÍ 1 000 000 ks - Parametry		
Parametry	Bestb	KNB
Čas broušení [min]	32 500	32 500
Čas orovnávaní [min]	1 998 (3 x 666)	0
Čas výměny [min]	63 (9 x 7)	7
Čas kontrol [min]	3 000 (3 x 1 000)	1 200
Počet kontrol	1 000	400
Počet orovnáání	666	0
Potřebná hmotnost brusiva [g]	17 000	90
Ztráta brusiva orovnááním [g]	31 968	
Počet kotoučů	26	2

Tab. č. 8 – Parametry pro výpočet nákladů broušení 1 000 000 ks

BROUŠENÍ 1 000 000 ks - Náklady		
Náklady [Kč]	Bestb	KNB
Cena doby broušení	194 025	194 025
Cena času orovnávaní	11 928	0
Cena při výměnách	376,11	41,79
Cena kotoučů	10 660	23 840
Cena kontrol	17 910	2 388
Celkové náklady	234 899,11	220 294,79

Tab. č. 9 – Náklady na broušení 1 000 000 ks pružin 0,63 x 4,8 x18 x12

7. Test kotoučů na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21

Na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21 se testovaly všechny tři kotouče. Rychlost podávacího kotouče byla pro všechny tři typy kotoučů stejná, stejně tak pracovník u stroje byl stejný. Všechny typy kotoučů brousily pružiny na jeden úběr a testovací broušení bylo provedeno na 500 ks pružin na každém kotouči.

7.1. Naměřené hodnoty

Měření probíhalo stejným způsobem jako u prvního testu, viz. kapitola 6.1.

	PŘED BROUŠENÍM			PO BROUŠENÍ		
	Bestb	KNB	Norton	Bestb	KNB	Norton
„m“ pružin [g]	1336	1336	1336	1300	1303	1311
„m“ kotouče [g]	1880 - vrchní		1344 – vrchní	1862		1296
	2154 - spodní		1316 - spodní	2130		1274
„m“ nového kotouče [g]	2720	90	1615			
Úbytek „m“ orovnááním [g]	48	0	80			
Čas přípravy [min]	10	10	10			
Čas orovnávaní [min]	5	0	5			
Čas brusu [min]	13	13	13			
G _m [g]				37	33	30
G _z [g]				17	0,13	32

Tab. č. 10 – Naměřené hodnoty testu na zakázce 1,12 x 6,3 x39,8 x21

7.2. Efektivnost a spotřeba zrna broušení

Byly použity stejné rovnice jako u předchozího testu, tzn. rovnice č. 1 a 2. U kotoučů Bestb a KNB se mohou výsledky lišit z důvodu jiných rozměrů pružin, tedy i jiného poměru odebíraného materiálu.

Efektivnost

$$g_{Bestb} = \frac{G_{m-Bestb}}{G_{z-Bestb}} = \frac{37}{17} = \mathbf{2,18}$$

$$g_{KNB} = \frac{G_{m-KNB}}{G_{z-KNB}} = \frac{33}{0,13} = \mathbf{253,85}$$

$$g_{Norton} = \frac{G_{m-Norton}}{G_{z-Norton}} = \frac{30}{32} = \mathbf{0,94}$$

Spotřeba zrna

$$q_{Bestb} = \frac{G_{z-Bestb}}{G_{m-Bestb}} = \frac{17}{37} = \mathbf{0,4595}$$

$$q_{KNB} = \frac{G_{z-KNB}}{G_{m-KNB}} = \frac{0,13}{33} = \mathbf{0,0039}$$

$$q_{Norton} = \frac{G_{z-Norton}}{G_{m-Norton}} = \frac{32}{30} = \mathbf{1,07}$$

7.3. Ekonomické zhodnocení

V ekonomickém zhodnocení zakázky pružin s drátem o $\varnothing 1,12$ jsou zohledněny stejné výpočty (Rce. č. 3 – 7) jako v předešlém zhodnocení, tzn. C_a , Q_m , T a náklady na broušení 700 000ks pružin této zakázky.

Cena 1g užitečné váhy kotouče

Ceny u kotoučů Bestb a KNB jsou počítány viz. kapitola 6.3.

Užitečná váha kotouče Norton je $m_{\text{Norton}} = 766$ g. Cena tohoto kotouče je 1 536,55 Kč bez DPH.

$$C_{a-KNB} = 132,44 \text{ Kč/g}$$

$$C_{a-Bestb} = 0,22 \text{ Kč/g}$$

$$C_{a-Norton} = \frac{C_{\text{Norton}}}{m_{\text{Norton}}} = \frac{1536,55}{766} = 2,006 \text{ Kč/g}$$

Výkon broušení

Výkony kotoučů se u jiné zakázky mohou lišit, proto byly znovu počítány výkony všech kotoučů.

$$Q_{m-Bestb} = \frac{G_{m-Bestb}}{t_{\text{brus}}} = \frac{37}{13} = 2,8462 \text{ g/min}$$

$$Q_{m-KNB} = \frac{G_{m-KNB}}{t_{\text{brus}}} = \frac{33}{13} = 2,5385 \text{ g/min}$$

$$Q_{m-Norton} = \frac{G_{m-Norton}}{t_{\text{brus}}} = \frac{30}{13} = 2,3077 \text{ g/min}$$

Trvanlivost nástroje

Trvanlivost nástroje byla opět přepočítaná znovu z důvodu odlišného typu broušených pružin. Trvanlivost nástroje Norton by byla větší, kdyby se nechal vyrobit brusný kotouč stejného tvaru jako Bestb.

$$T_{Bestb} = \frac{2 \cdot t_{brus} \cdot m_{Bestb}}{G_{Z-Bestb}} = \frac{2 \cdot 13 \cdot 1877}{17} = 2\,870 \text{ min} = \mathbf{47 \text{ hod } 50 \text{ min}}$$

$$T_{KNB} = \frac{2 \cdot t_{brus} \cdot m_{KNB}}{G_{Z-KNB}} = \frac{2 \cdot 13 \cdot 90}{0,13} = 18\,000 \text{ min} = \mathbf{121 \text{ hod } 52 \text{ min}}$$

$$T_{Norton} = \frac{2 \cdot t_{brus} \cdot m_{Norton}}{G_{Z-Norton}} = \frac{2 \cdot 13 \cdot 766}{90} = 221 \text{ min} = \mathbf{3 \text{ hod } 40 \text{ min}}$$

Náklady na broušení 700 000 ks pružin

Z naměřených hodnot bylo vypočteno, že kotouče s KNB jsou schopny obrousit zhruba 700 000 ks pružin ze zakázky 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21. Byly spočítány náklady této modelové situace broušení všemi typy kotoučů.

Dopočítávané a měřené hodnoty (tj. čas broušení modelové situace, počet orovnávaní, počet kontrol, čas orovnávaní, čas kontrol) byly spočítány a naměřeny stejně jako u testu viz. kapitola 6.3.

Kotouče Norton byly přepočítány na stejné rozměry jako kotouče Bestb kvůli možnosti koupi kotouče Norton ve stejných rozměrech, viz. kapitola 4.1.1. Cena tohoto kotouče s těmito rozměry by byla 2 400 Kč bez DPH.

Orovnávání po diskuzi se seřizovačem brusek bylo stanoveno u této modelové situace na orovnávaní po každých 1 500 ks pružin u kotouče Bestb a 1 000 ks u kotouče Norton.

Kontroly byly stanoveny na kontrolu po cca. 1 500 ks u KNB, 1 000 ks u Bestb a 1 000 ks u Norton.

BROUŠENÍ 700 000 ks - Parametry			
Parametry	Bestb	KNB	Norton
Čas broušení [min]	18 000	18 000	18 000
Čas orovnávání [min]	1 398 (3 x 466)	0	2 100
Čas výměny [min]	84 (7 x 12)	7	182
Čas kontrol [min]	2 100 (3 x 700)	1 398	2 100
Počet kontrol	700	466	700
Počet orovnáání	466	0	700
Potřebná hmotnost brusiva [g]	23 800	90	44 800
Ztráta brusiva orovnááním [g]	22 368	0	56 000
Počet kotoučů	24	2	52

Tab. č. 11 – Parametry pro výpočet nákladů broušení 700 000 ks

BROUŠENÍ 700 000 ks - Náklady			
Náklady [Kč]	Bestb	KNB	Norton
Cena doby broušení	107 460	107 460	107 460
Cena času orovnávání	8 346,06	0	12 537
Cena při výměnách	501,48	41,79	1 086,54
Cena kotoučů	9 840	23 840	124 800
Cena kontrol	12 537	8 346,06	12 537
Celkové náklady	138 684,54	139 687,85	258 420,54

Tab. č. 12 – Náklady na broušení 700 000 ks pružin 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21

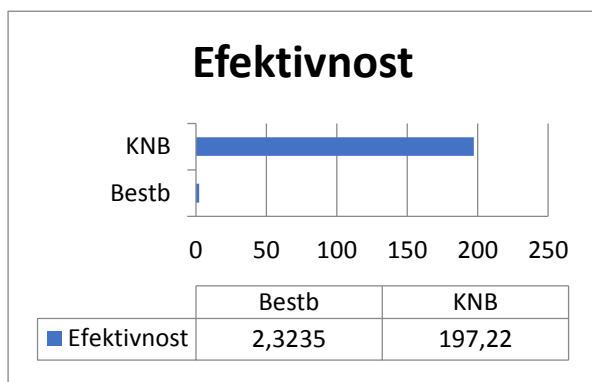
8. Výsledky testů

Byly vyhodnocovány všechny spočítané hodnoty a také kvalita povrchů. Každý test byl vyhodnocen zvlášť. Výsledky testů jsou dále zhodnoceny v závěru bakalářské práce.

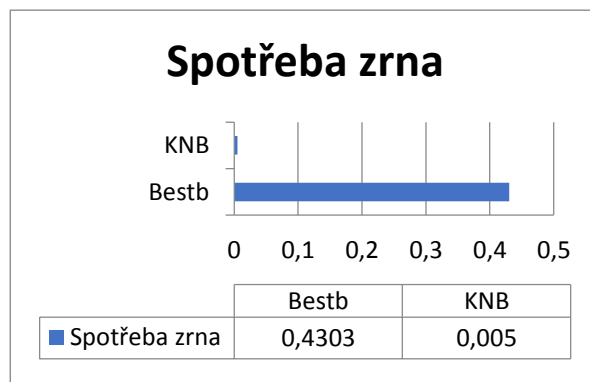
8.1. Výsledky testu na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12

Výsledky testu ukázaly, že efektivnost brusného kotouče s KNB je téměř 85x větší než kotouče Bestb. Znamená to tedy, že poměr váhy odebraného materiálu ku váze ztráty kotouče je u kotouče s KNB větší.

Spotřeba zrna je tedy 85x větší u kotouče Bestb oproti kotouči s KNB. Spotřeba zrna je počítána pouze z broušení, nikoli orovnávaní.



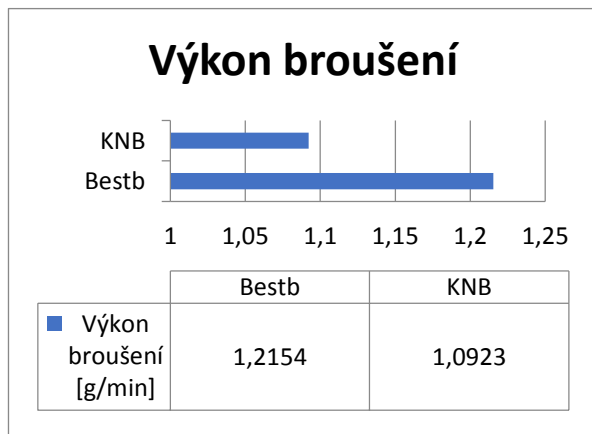
Graf č. 8.1 – Efektivnost broušení kotoučů Bestb a KNB



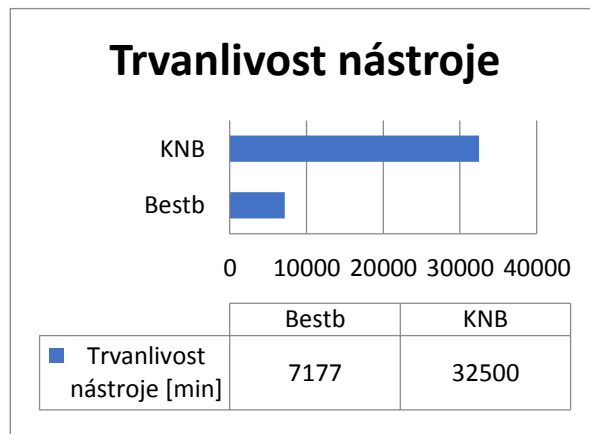
Graf č. 8.2 – Spotřeba zrna kotoučů Bestb a KNB

Výkon broušení je zhruba o desetinu g/min lepší u nástroje Bestb. Příčinou tohoto výsledku bude větší zrnitost korundového brusiva nástroje Bestb a také jeho pórovitější struktura.

Trvanlivost brusného kotouče s KNB je při broušení pružin dané zakázky zhruba 4,5x větší než u kotouče. Počítáno bylo však pouze se spotřebou brusiva pouze při broušení, kotouče Bestb je nutné orovnávat, tudíž reálná trvanlivost kotouče s KNB je větší, s tímto faktem bylo počítáno při modelové situaci broušení 1 000 000 ks pružin.



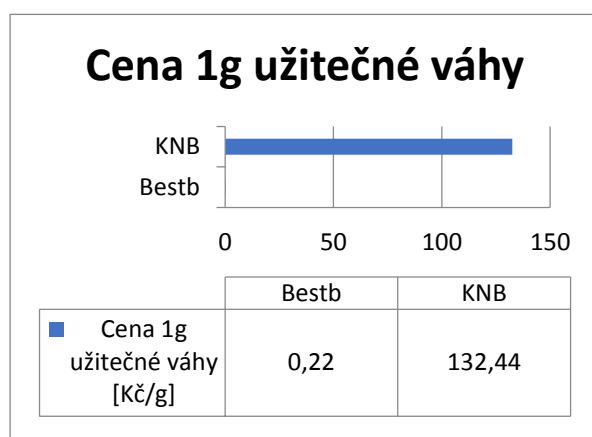
Graf č. 8.3 – Výkon broušení kotoučů Bestb a KNB



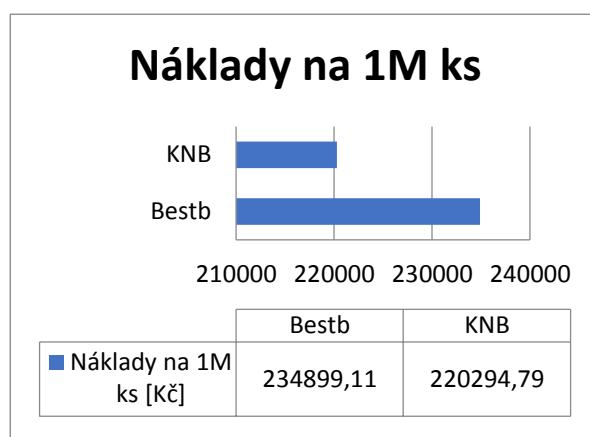
Graf č. 8.4 – Trvanlivost kotoučů Bestb a KNB

Užitečná váha brusného kotouče Bestb (1877 g) je mnohem větší než u kotouče s KNB (90g). Cena jednoho kotouče od firmy Bestb je 410 Kč bez DPH, cena brusného kotouče s KNB je 11 920 bez DPH. To jsou důvody proč cena 1g užitečné váhy kotouče Bestb je zhruba 600x menší.

1 000 000 ks testovaných pružin se vyplatí brousit kotoučem KNB. Úspora na tomto počtu broušených pružin byla spočítána na 14 604,32 Kč. Nejcitelnější položkou broušení kotoučem Bestb bylo orovnávaní a také kontroly povrchu pružin a nastavení stroje, které se v průběhu broušení může měnit.

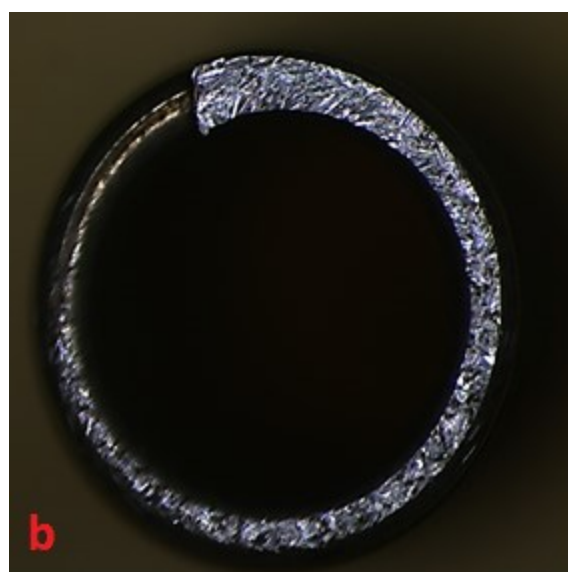
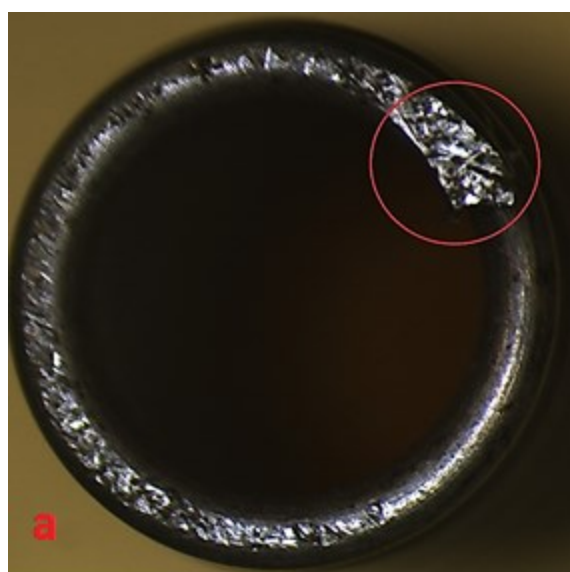


Graf č. 8.5 – Cena 1g užitečné váhy kotoučů Bestb a KNB



Graf č. 8.6 – Náklady na broušení 1M ks pružin kotouči Bestb a KNB

Na snímcích z mikroskopu lze vidět na stopách po brusivu, že stopy po KNB (viz. obr. č. 8.1 – b) jsou jemnější. Výbrus na obr. č. 8.1 (a) není správný, obrobení není 0,75% závitu, rozměry pružiny však byly v mezích tolerance.

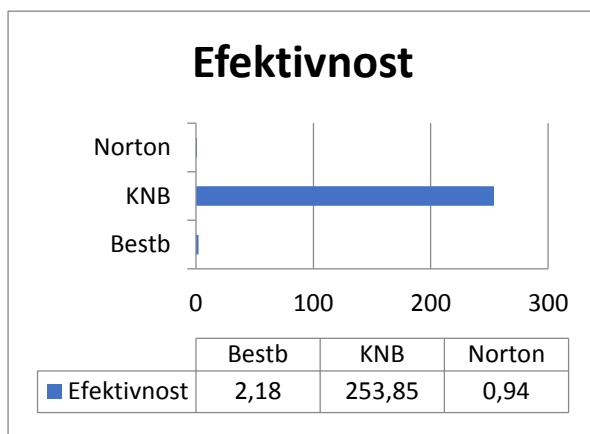


Obr. č. 8.1 – Výbrus kotoučem: a) Bestb ; b) KNB

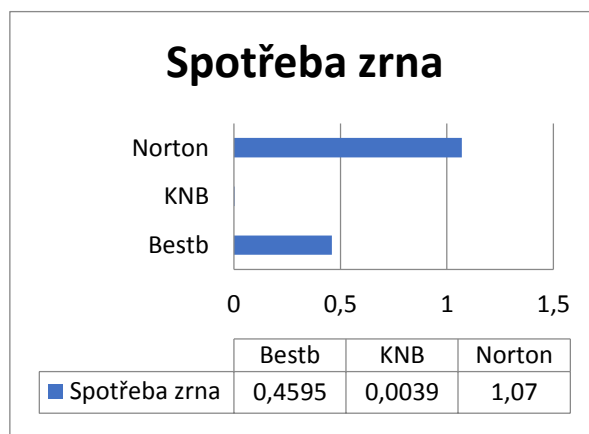
8.2. Výsledky testu na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21

Efektivnost broušení byla opět nejlepší u brusného kotouče s KNB, byla 116x větší než u kotouče Bestb a 270x větší než u kotouče Norton.

Spotřeba zrna byla tedy nejmenší u brusného kotouče s KNB, 270x menší než u kotouče Norton a 116x menší než u kotouče Bestb.



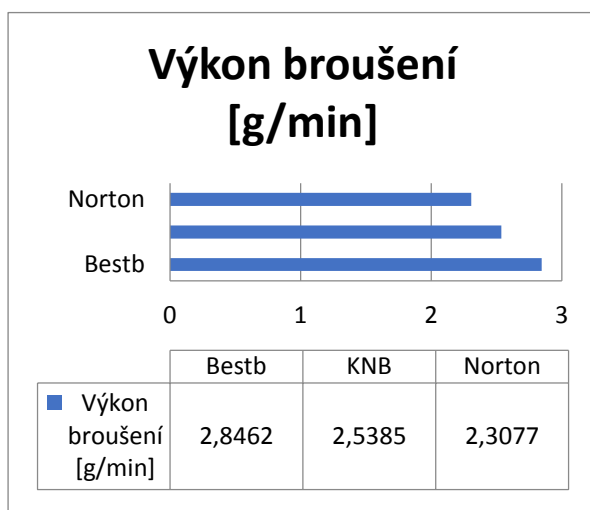
Graf č. 8.7 – Efektivnost broušení brusných kotoučů



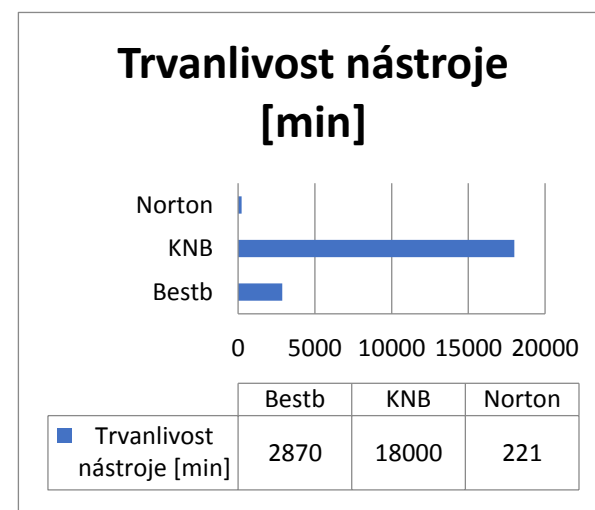
Graf č. 8.8 – Spotřeba zrna brusných kotoučů

Výkon broušení vyšel nejlépe pro brusný kotouč Bestb. Norton vyšel z testu nejhůře kvůli svým vlastnostem. Kotouč Norton má menší tvrdost a zrnitost oproti kotouči Bestb.

Trvanlivost nástroje byla opět nejvyšší u brusného kotouče s KNB. Kotouč Bestb má asi 6x menší trvanlivost a kotouč Norton asi 80x menší. Trvanlivost kotoučů Bestb a Norton je počítána pouze z broušení pružin, nikoli s orovnáváním. Kotouč Norton má rozdílný tvar a objem oproti korundovému kotouči Bestb. V modelové situaci broušení 700 000 ks pružin jsou tyto objemy rovnocenně přepočítány.



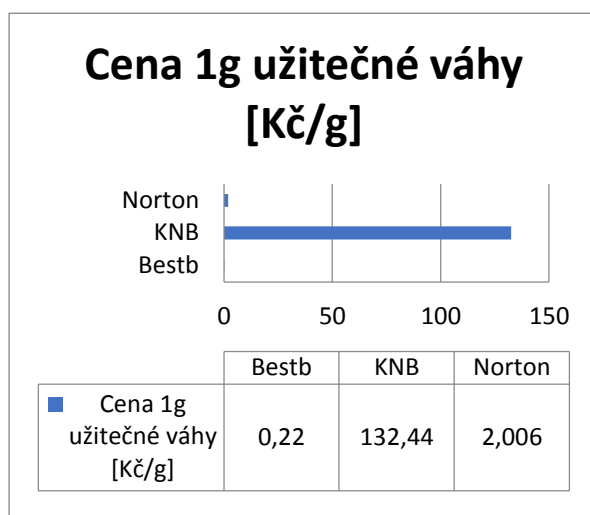
Graf č. 8.9 – Výkon broušení brusných kotoučů



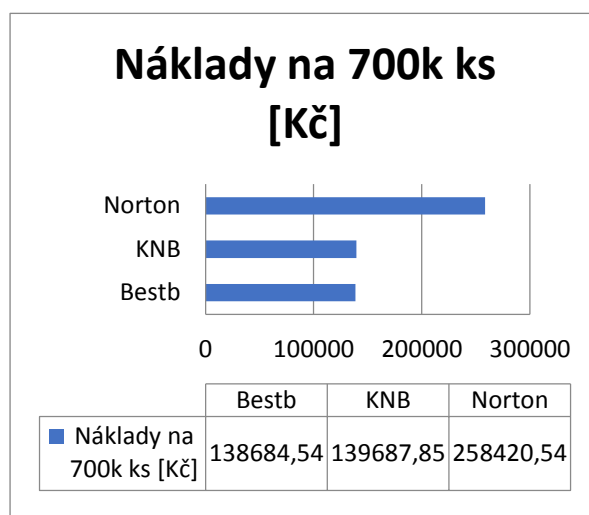
Graf č. 8.10 – Trvanlivost brusných kotoučů

Cena 1g užitečné váhy pro brusné kotouče Bestb a KNB zůstává stejná. U kotouče Norton je oproti korundovému kotouči Bestb zhruba 9x větší. Cena 1g užitečné váhy pro kotouč Norton, který má stejné rozměry jako Bestb by byla 1,27 Kč. Cena by byla i tak skoro 6x větší oproti Bestb.

Náklady na broušení 700 000 ks testovaných pružin by vyšlo nejlépe s kotouči Bestb. Úspora s kotouči Bestb na toto broušení by bylo však pouze o zhruba 1 000 Kč. Kotouče Norton s parametry stejnými jako kotouče Bestb by tuto zakázku obrousilo zhruba o 120 000 Kč draž.

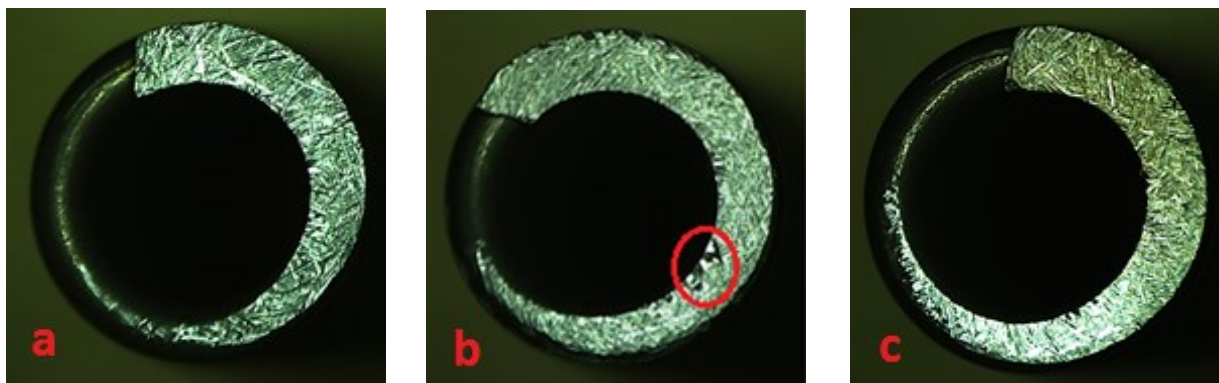


Graf č. 8.11 – Cena 1g užitečné váhy brusných kotoučů



Graf č. 8.12 – Náklady na broušení 700k ks pružin brusnými kotouči

Na obr. č. 8.2 (a) lze vidět, že stopy po brusivu má opět největší kotouč Bestb a výbrus není úplně vhodný. Neobrousil 0,75 % závitu, rozměry pružiny však byly v mezích tolerance. Brusivo KNB vytvořilo nejjemnější obrobenou plochu (viz. Obr. č. 8.2 – b), avšak vytvořilo na hranách malé odlomky materiálu. Obrobená plocha kotoučem Norton (viz. Obr. č. 8.2 - c) je dobrá, také stopy po brusivu nejsou velké, to díky měkčímu kotouči a menší zrnitosti.



Obr. č. 8.2 – Výbrus kotoučem: a) Bestb ; b) KNB ; c) Norton

Závěr

Efektivnost a s tím spjatou ekonomičnost se s brusnými kotouči s KNB podařilo zlepšit u testování na zakázce pružin o průměru drátu 0,63 mm. Stejně tak obrobena plocha pružin u této zakázky byla výrazně lepší po obrábění kotouči s KNB.

Test na zakázce s průměrem drátu 1,12 mm ukázal, že tyto pružiny je finančně nejlepší brousit se stávajícími kotouči firmy Bestb. Kotouče s KNB a kotouče Norton byly schopny vytvořit lepší obrobenou plochu. U pružin broušených kotouči s KNB se občas objevovaly mírné odlomky materiálu. To bylo zapříčiněno nedostatečnou zrnitostí kotoučů, avšak z pružin se nestaly zmetky. Zakázka se dále posílala na hrotování, kde se tyto nedostatky opravily.

I přes mírnou úsporu nákladů při broušení kotouči Bestb je, dle mého názoru, lepší výsledek po broušení s kotouči KNB. Myšleno tak, že kotouče s KNB ušetří mnoho práce a tedy i času seřizovači brusek i přes spočítanou úsporu kotouči KNB. Seřizovač tedy může uspořeným časem vypočítanou úsporu, zhruba 1 000 Kč, bezpečně vydělat jinou prací jinde.

Brusné kotouče firmy Norton se ukázaly jako naprosto nevyhovující, a to i za předpokladu, že by se objednaly v rozměrech, které firma na brusce Kunz M5 aktuálně využívá.

Po konzultaci výsledků testů s technologem pérovny a seřizovačem brusek bylo stanoveno, že brusné kotouče s KNB jsou bezpečně schopny brousit výhodněji a kvalitněji pružiny s drátem do průměru 1 mm. Maximální únosný průměr drátu, který je schopen brousit kotouč s KNB o zrnitosti B 251 je právě testovaný průměr 1,12 mm. Pružiny s drátem o průměru větším než 1,12 mm je doporučeno brousit aktuálně používanými kotouči firmy Bestb nebo objednat další kotouče s KNB, avšak s větší zrnitostí.

Použitá literatura

1. MASLOV, J. N. Teorie broušení kovů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.
2. BRYCHTA, Josef. Nové směry v progresivním obrábění [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2019-02-10]. ISBN 978–80–248–1505–3.
3. RENÁTA, Bartoňová. Technologie broušení [online]. 2012 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf
4. DOBROVOLNÝ, Bohumil. Broušení kovů: teoretické i praktické základy brusičské praxe. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Knižnice strojírenské výroby.
5. Katalog skladových výrobků pro univerzální broušení. In: Katalog [online]. 2016, s. 8 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://www.tyrolit.cz/fileadmin/Documents/Trade/Catalogues/TYROLIT_CZ_2016_A5_Univerza_Ini_.pdf
6. Spring Grinding Guide. In: , joem. Publikace [online]. 9400, State Road, Philadelphia, PA 19114: Jowitt & Rodgers Co., 2006, s. 13 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.jowittandrodgers.com/wp-content/uploads/2018/05/spring-grinding-guide.pdf>
7. Obrázek rovinného broušení. In: Eluc.kr-olomoucky.cz [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825>
8. Katalog firmy Norton [online]. In: . Norton, s. 21-24 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.brusivo-nastroje.cz/katalogy/norton/komplet/files/assets/downloads/publication.pdf?fbclid=IwAR3-zleeyTm8bZJ7rnYBXIPzPx65q_A-gu-CmvQhHRQSLnVNY_fGnLIJZaE
9. Katalog firmy Urdiamant [online]. In: . 2007, 3-9 ; 42 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: https://www.urdiamant.cz/wp-content/uploads/_other_doc2_BK.pdf?fbclid=IwAR2kK3YQhKlfSe7FTHHZQPojMqHvfBGwtwsfScQH5jN2cSUQiNsGzVHC20c
10. MARCOL, J. *Tažený ocelový drát pro vaše užití*. Bezručova 300, 735 93 Bohumín: Tiskárna Kleinwächter, 1998.
11. ČSN EN 10270 - 1. *Ocelové dráty na mechanické pružiny - Část 1: Patentované pružinové dráty z nelegovaných ocelí, tažené za studena*. 2. Praha: Normservis, 2012.

Seznam obrázků

- Obr. č. 1.1 – Princip broušení
- Obr. č. 1.2 – Geometrie brusného zrna
- Obr. č. 1.3 – Rozdíly v rovinném broušení podle polohy kotouče
- Obr. č. 1.4 – Bezhroté broušení
- Obr. č. 1.5 – Broušení podélným posuvem
- Obr. č. 1.6 – Hloubkové broušení
- Obr. č. 1.7 – Zapichovací broušení
- Obr. č. 1.8 – Planetové broušení děr
- Obr. č. 2.1 – Příklad brusného nástroje z bílého korundu (Brusné tělísko)
- Obr. č. 2.2 – Brusný kotouč z hnědého korundu
- Obr. č. 2.3 – Objednávkový obrázek na kotouč s KNB dirmy Urdiamant s.r.o.
- Obr. č. 2.4 – Brusný kotouč s keramickým pojivem
- Obr. č. 2.5 – Značení vlastností brusných kotoučů
- Obr. č. 3.1 – Bruska Kunz M5
- Obr. č. 3.2 – a) Nový kotouč firmy Bestb s jednostranným vybráním
b) Kotouč s vybroušeným vybráním
- Obr. č. 3.3 – Rozměry brusného kotouče Bestb
- Obr. č. 3.4 – Orovnávač na brusce
- Obr. č. 3.5 – Orovnávací kolečka na ruční orovnávání
- Obr. č. 3.6 – Podávací kotouče
- Obr. č. 3.7 – Podávací kotouče vymezeny distančními podložkami
- Obr. č. 4.1 – Brusný kotouč Norton
- Obr. č. 4.2 – Rozměry brusného kotouče Norton
- Obr. č. 4.3 – Konstrukce brusného kotouče s KNB
- Obr. č. 4.4 – Brusný kotouč s KNB
- Obr. č. 8.1 – Výbrus kotoučem: a) Bestb ; b) KNB
- Obr. č. 8.2 – Výbrus kotoučem: a) Bestb ; b) KNB ; c) Norton

Seznam tabulek a grafů

Tab. č. 1 – Specifikace brusného kotouče Bestb

Tab. č. 2 – Základní parametry brusky Kunz M5

Tab. č. 3 – Charakteristika kotouče Norton

Tab. č. 4 – Charakteristika kotouče s KNB

Tab. č. 5 – Chemické složení drátu EN 10270 – 1 DH

Tab. č. 6 – Mechanické vlastnosti drátu EN 10270 – 1 DH

Tab. č. 7 – Naměřené hodnoty testu na zakázce 0,63 x 4,8 x 18 x 12

Tab. č. 8 – Parametry pro výpočet nákladů broušení 1 000 000 ks

Tab. č. 9 – Náklady na broušení 500 000 ks pružin 0,63 x 4,8 x 18 x 12

Tab. č. 10 - Naměřené hodnoty testu na zakázce 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21

Tab. č. 11 - Parametry pro výpočet nákladů broušení 700 000 ks

Tab. č. 12 - Náklady na broušení 700 000 ks pružin 1,12 x 6,3 x 39,8 x 21

Graf č. 8.1 – Efektivnost broušení kotoučů Bestb a KNB

Graf č. 8.2 – Spotřeba zrna kotoučů Bestb a KNB

Graf č. 8.3 – Výkon broušení kotoučů Bestb a KNB

Graf č. 8.4 – Trvanlivost kotoučů Bestb a KNB

Graf č. 8.5 – Cena 1g užitečné váhy kotoučů Bestb a KNB

Graf č. 8.6 – Náklady na broušení 1M ks pružin kotouči Bestb a KNB

Graf č. 8.7 – Efektivnost broušení brusných kotoučů

Graf č. 8.8 – Spotřeba zrna brusných kotoučů

Graf č. 8.9 – Výkon broušení brusných kotoučů

Graf č. 8.10 – Trvanlivost brusných kotoučů

Graf č. 8.11 – Cena 1g užitečné váhy brusných kotoučů

Graf č. 8.12 – Náklady na broušení 700k ks pružin brusnými kotouči